



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 51 721 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 05 K 3/02
B 23 K 26/00

②1 Aktenzeichen: 199 51 721.5
②2 Anmeldetag: 27. 10. 1999
④3 Offenlegungstag: 15. 6. 2000.

DE 199 51 721 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦1 Anmelder:
LPKF Laser & Electronics AG, 30827 Garbsen, DE

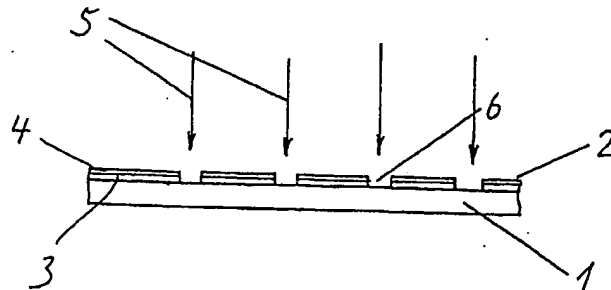
⑦4 Vertreter:
Hagemann, Braun & Held, 30173 Hannover

⑦2 Erfinder:
Kickelhain, Jörg, 31535 Neustadt, DE; Meier, Dieter,
31542 Bad Nenndorf, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur strukturierten Metallisierung der Oberfläche von Substraten

⑤7 Beschrieben wird ein Verfahren zur strukturierten Metallisierung der Oberfläche von polymeren Substraten (1) zur Herstellung von Feinstleitorschaltungen, wobei auf die Oberfläche des Substrates (1) eine Basisschicht vollflächig aufgetragen wird, dann durch eine im Bereich der einzubringenden Isolationskanäle (6) einwirkende kurzwellige, elektromagnetische Strahlung (3), vorzugsweise im UV-Bereich, insbesondere eines Lasers, in die Basisschicht Isolationskanäle (6) durch vollständigen Abtrag der Basisschicht eingearbeitet werden, und nachfolgend die verbleibende strukturierte Basisschicht in einem stromlosen Metallisierungsbad mit metallischen Leiterbahnen (8) versehen wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß als Basisschicht ein metallischer Schichtaufbau (2) in einer maximalen Dicke aufgetragen wird, die der Photonen-Eindringtiefe der einwirkenden elektromagnetischen Strahlung (3) entspricht und daß die Energiedichte der elektromagnetischen Strahlung (3) derart eingestellt wird, daß der metallische Schichtaufbau (2) ohne Abtrag durchstrahlt und die Energie im wesentlichen an der Phasengrenze zum polymeren Substrat (1) absorbiert wird, wobei ein sich bildendes Plasma den metallischen Schichtaufbau (2) unter Ausbildung der Isolationskanäle (6) randscharf und rückstandslos entfernt. Es sind extrem saubere Schnittkanten erzielbar.



DE 199 51 721 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur strukturierten Metallisierung der Oberfläche von polymeren Substraten zur Herstellung von Feinstleisterschaltungen, wobei auf die Oberfläche des Substrates eine Basisschicht vollflächig aufgetragen wird, dann durch eine im Bereich der einzubringenden Isolationskanäle einwirkende kurzwellige elektromagnetische Strahlung, vorzugsweise im UV-Bereich, insbesondere eines Lasers, in die Basisschicht Isolationskanäle durch vollständigen Abtrag der Basisschicht eingearbeitet werden, und nachfolgend die verbliebene strukturierte Basisschicht in einem stromlosen Metallisierungsbad mit metallischen Leiterbahnen versehen wird.

In der DE 39 22 478 A1 ist ein Verfahren zur Strukturierung kupferkaschierter Polymeroberflächen beschrieben, bei dem mittels eines Excimerlasers ein direkter Abtrag einer Restkupferschicht und einer Kunststoffschicht erfolgt. Hier ist es vor allem nachteilig, daß der Abtrag der relativ dicken Kupferschicht mit einer Wärmeentwicklung einhergeht, die die Kantenschärfe der erzeugten Strukturen nachteilig beeinflußt.

In der Zeitschrift "Galvanotechnik 84" (1993), Nr. 2, Seiten 570 ff., ist in dem Artikel "Herstellung flexibler Schaltungen mit Bayprint – eine zukunftsweisende Technologie" ein Verfahren beschrieben, das ohne Belichtung und ohne Ätzung arbeitet. Hier wird eine Polymeroberfläche mit einem Primer, d. h. mit einer haftvermittelnden Schicht, im Siebdruckverfahren bedruckt. Die Leiterbahnstrukturen werden hier bereits durch eine strukturierte Beschichtung mit dem Primer vorgegeben. Der Primer ist nichtleitend, haftet gut auf der Polymeroberfläche und weist nach einem Trocknungsvorgang an einer Oberseite eine poröse Struktur auf, die anschließend eine haftfeste Verankerung einer stromlos abgeschiedenen Metallschicht ermöglicht. Die Metallschicht bildet dann die Leiterbahn. Dieses Verfahren weist zwar den Vorteil auf, daß es relativ einfach zu handhaben ist, es ist jedoch durch die Anwendung des Siebdruckes auf Leiterbahnbreiten und Abstände der Isolationskanäle von größer als 100 µm begrenzt.

Durch die EP 0 727 925 ist es auch bereits bekannt geworden, auf die Oberfläche des Substrats eine Primerschicht im Bereich einer später aufzubringenden Metallschicht vollflächig aufzutragen und durch eine in bestimmten Bereichen einwirkende elektromagnetische Strahlung im UV-Bereich, insbesondere eines Excimerlasers mit relativ hoher Energiedichte, in die Primerschicht Isolationskanäle durch vollständigen direkten Abtrag einzuarbeiten, wobei dann nachfolgend die verbliebene strukturierte Primerschicht zur Ausbildung von Leiterbahnen in einem stromlosen Metallisierungsbad mit einer Metallschicht versehen wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, das eine hochauflösende strukturierte Metallisierung der Oberfläche von Substraten, insbesondere von Leiterplatten, schnell und wirtschaftlich ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die weitere Ausgestaltung der Erfindung ist den Unteransprüchen zu entnehmen.

Indem als Basisschicht auf das Substrat ein metallischer Schichtaufbau in einer maximalen Dicke aufgetragen wird, die der Photonen-Eindringtiefe der einwirkenden elektromagnetischen Strahlung entspricht, und indem die Energiedichte der elektromagnetischen Strahlung derart eingestellt wird, daß der metallische Schichtaufbau ohne Abtrag durchstrahlt und die Energie im wesentlichen an der Phasengrenze zum polymeren Substrat absorbiert wird, ist der Effekt erzielbar, daß im Bereich der Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung ein sich bildendes Plasma den metallischen

Schichtaufbau unter Ausbildung von Isolationskanälen sehr hoher Konturenschärfe rückstandslos entfernt. An sich war nicht zu erwarten, daß mittels einer einwirkenden kurzwelligen elektromagnetischen Strahlung eine hochauflösende und kantenscharfe Strukturierung eines metallischen Schichtaufbaus im Feinstleiterbereich möglich ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der metallische Schichtaufbau in einer Dicke von 5 bis 500 nm, vorzugsweise in einer Dicke von 10 bis 100 nm aufgetragen. Wie sich gezeigt hat, ist völlig überraschend, daß das sich unterhalb eines metallischen Schichtaufbaus dieser geringen Dicke ausbildende Plasma offenbar dazu in der Lage ist, den Schichtaufbau rückstandslos zu entfernen, wobei in vorteilhafter Weise äußerst randscharfe Bruchkanten ausgebildet werden. Es sind somit extrem saubere Schnittkanten erzielbar, die bisher nicht erreichbar waren.

Der Schichtaufbau ist von einem bei der stromlosen Metallisierung katalytisch wirkenden Metall gebildet, das es ermöglicht, den nach der Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung verbliebenen strukturierten Schichtaufbau anschließend in einem stromlosen Metallisierungsbad mit Leiterbahnen zu versehen.

Vorteilhaft kann es sein, wenn der metallische Schichtaufbau zweischichtig von einem auf der Oberfläche des Substrates aufgetragenen Metallhaftfilm und von einem auf dem Metallhaftfilm aufgetragenen, aus dem katalytisch wirkenden Metall bestehenden Metallfilm ausgebildet ist. Der Metallhaftfilm optimiert hier die Haftung des metallischen Schichtaufbaus und somit der Leiterbahnen auf der Oberfläche des Substrates.

Im Rahmen der Erfindung ist es vorgesehen, daß der Schichtaufbau bzw. der Metallfilm vorzugsweise aus Au, Cu, Pd, Pt, Ag, Al bzw. aus Legierungen dieser Metalle besteht. Der Metallhaftfilm besteht vorzugsweise aus Cr. Vorzugsweise wird der Schichtaufbau durch Aufdampfen bzw. Sputtern aufgebracht.

Vorzugsweise wird der metallische Schichtaufbau in den Isolationskanälen zwischen den späteren Leiterbahnen mittels eines Krypton-Fluorid-Excimerlasers mit einer Wellenlänge von 248 nm und einer geringen Energiedichte von 100–200 mJ/cm² abgetragen. Wie sich gezeigt hat, ist es insbesondere bei Verwendung eines Krypton-Fluorid-Excimerlasers möglich, feinste Isolationskanäle und Leiterbahnen mit einer Breite bis zu etwa 5 µm zu strukturieren. Der Arbeitsbereich erstreckt sich von ca. 5 µm bis ca. 200 µm, insbesondere auf etwa 20–40 µm. Wie sich gezeigt hat, ist aufgrund des geringen Energieeinsatzes in der Regel je Flächeneinheit lediglich ein einziger Laserimpuls erforderlich, um die Strukturen zu erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich daher auch durch eine große Schnelligkeit und hohe Wirtschaftlichkeit aus.

Es ist beispielsweise auch möglich, unter Wahrung der genannten Vorteile, die Isolationskanäle mittels eines frequenzkonvertierten Nd:YAG-Festkörperlasers auszubilden. Hier kann es sich z. B. um einen frequenzverdoppelten Nd:YAG-Festkörperlaser mit einer Wellenlänge von $\lambda = 532$ nm, einer Laserfrequenz von 5 kHz und einer mittleren Leistung von etwa 6 W handeln.

Die Isolationskanäle können beispielsweise aber auch mittels eines frequenzverdreiften Nd:YAG-Festkörperlasers mit einer Wellenlänge von $\lambda = 355$, einer Laserfrequenz von 5 kHz und einer mittleren Leistung von etwa 0,5–1 W ausgebildet werden.

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens können äußerst feine Isolationskanäle und Leiterbahnen mit einer Breite von 5 µm bis 200 µm, vorzugsweise 10 µm bis 100 µm, erzeugt werden. Vorteilhaft ist beim vorliegenden

Verfahren außerdem die Tatsache, daß unter Anwendung von Excimerlasern, verbunden mit dem Einsatz optischer Komponenten, auch die Strukturierung gekrümmter Substratmaterialien möglich ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die elektromagnetische Strahlung unter Verwendung einer im Strahlengang des Excimerlasers angeordneten Maske oder mittels eines Abbildungsverfahrens aufgebracht. Auch ist es möglich, den metallischen Schichtaufbau in den Isolationskanälen mittels eines fokussierten Laserstrahls abzutragen. Die genannten Verfahren ermöglichen es, den Laserstrahl fein strukturiert auf den metallischen Schichtaufbau einwirken zu lassen.

Es ist im übrigen von erheblichem Vorteil, daß mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens auch räumliche elektronische Schaltungsträger, wie das Innere von Gerätegehäusen, in der beschriebenen Art und Weise mit Leiterbahnen äußerst feiner Struktur versehen werden können. Alle erforderlichen Verfahrensschritte sind auch an gewölbten Oberflächen problemlos durchführbar. Auch auf die Oberfläche eines stark gewölbten Substrates kann der metallische Schichtaufbau z. B. durch Aufdampfen bzw. Sputtern aufgetragen werden. Die Einwirkung der Strahlung eines Excimerlasers kann beispielsweise über eine entsprechend geformte Schablone gleichfalls an beliebig gekrümmten Oberflächen von Substraten mit größter Präzision erfolgen. Nicht zuletzt bereitet der abschließende Auftrag der Metallschicht auch an gewölbten Oberflächen keine Schwierigkeiten. Erfindungsgemäß ist es möglich, elektrische und mechanische Elemente auf nahezu beliebig geformten Leiterplatten zu integrieren.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1, einen Querschnitt durch eine Leiterplatte mit einem aufgetragenen metallischen Schichtaufbau,

Fig. 2, einen Querschnitt durch die Leiterplatte gemäß Fig. 1, mit durch die Einwirkung einer kurzwelligen elektromagnetischen Strahlung abgetragenen Isolationskanälen,

Fig. 3, einen Querschnitt durch die Leiterplatte gemäß Fig. 1 und 2, mit einer aufgetragenen Metallschicht.

In der Zeichnung ist mit 1 ein Substrat, d. h. eine Leiterplatte bezeichnet, die in an sich bekannter Weise aus einem nichtleitenden Polymer besteht. Auf der Oberfläche des Substrates 1 ist ein metallischer Schichtaufbau 2 in einer Dicke von 5 bis 500 nm, vorzugsweise in einer Dicke von 10 bis 100 nm aufgebracht. Das Aufbringen des metallischen Schichtaufbaus 2 erfolgt z. B. durch Aufdampfen bzw. Sputtern. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der metallische Schichtaufbau 2 zweischichtig von einem auf das Substrat 1 aufgedampften Metallhaftfilm 3 und von einem auf den Metallhaftfilm 3 aufgedampften Metallfilm 4 gebildet. Der Metallhaftfilm 3 besteht z. B. aus Cr und dient der Herstellung einer sicheren Haftung des metallischen Schichtaufbaus 2 auf dem Substrat 1. Der Metallfilm 4 ist, um eine spätere stromlose Metallisierung zu ermöglichen, von einem katalytisch wirkenden Metall gebildet. Grundsätzlich kann der metallische Schichtaufbau 2 jedoch durchaus auch einschichtig aufgebaut und ausschließlich von einem katalytisch wirkenden Metall gebildet sein. Wichtig ist es, daß der metallische Schichtaufbau 2 in den später zu metallisierenden Bereichen vollflächig auf die Oberfläche des Substrates 1 aufgebracht ist.

Aus der Fig. 2 der Zeichnung ist ersichtlich, daß der metallische Schichtaufbau 2 des Substrates 1 zur Strukturierung einer kurzwelligen elektromagnetischen Strahlung 5 z. B. eines in der Zeichnung nicht dargestellten Excimerlasers ausgesetzt wird. Sofern die Eindringtiefe der Photonen

beispielsweise etwa 20 bis 30 nm beträgt, so wird dabei der metallische Schichtaufbau 2, sofern dessen Dicke geringer ist als die Eindringtiefe der Photonen, ohne Abtrag durchstrahlt und die Energie im wesentlichen erst an der Phasengrenze zum polymeren Substrat 1 absorbiert. Ein sich im Bereich der Einwirkung der elektromagnetischen Strahlung an der Phasengrenze zum polymeren Substrat 1 unterhalb des metallischen Schichtaufbaus 2 ausbildendes, in der Zeichnung nicht dargestelltes Plasma bewirkt dann, daß der metallische Schichtaufbau 2 unter Ausbildung von Isolationskanälen 6 rückstandslos entfernt wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der metallische Schichtaufbau in einer Dicke von lediglich 10 bis 20 nm aufgetragen. Wie sich gezeigt hat, ist das sich unterhalb eines metallischen Schichtaufbaus dieser geringen Dicke ausbildende Plasma völlig überraschend offenbar dazu in der Lage, den Schichtaufbau rückstandslos abzusprengen, wobei in vorteilhafter Weise äußerst rand-scharfe Bruchkanten ausgebildet werden. Es sind somit extrem saubere Schnittkanten erzielbar, die bisher nicht erreichbar waren. Es ist somit möglich, in der Primerschicht 2 feinste Strukturen mit einer Breite von bis zu etwa 5 µm zu erzeugen. Beim Abtrag des metallischen Schichtaufbaus 2 ist jedoch zu beachten, daß eine später aufgetragene Metallschicht 7 möglicherweise auch an den Rändern der Isolationskanäle 6 aufgebaut wird. Die Isolationskanäle 6 müssen aus diesem Grunde an jedem dieser Ränder um die Stärke der aufgetragenen Metallschichten 7 breiter abgetragen werden, als es an sich für die Isolierung erforderlich ist.

Ein weiterer vorteilhafter Effekt ergibt sich aus der Tatsache, daß der vorzugsweise durch Aufdampfen bzw. Sputtern auf das Substrat 1 aufgetragene metallische Schichtaufbau 2 scharf abgegrenzt auf dessen Oberfläche angeheftet ist, ohne diese zu durchdringen. Es ist folglich zum erforderlichen sicheren, vollständigen Abtrag des metallischen Schichtaufbaus 2 im Vergleich zu den bekannten Verfahren nicht erforderlich, auch das Substrat oberflächlich zu entfernen. Es ergibt sich letztlich erst hieraus die Möglichkeit, in äußerst vorteilhafter Weise sehr schnell mit einer elektromagnetischen Strahlung 5 einer so geringen Energiedichte zu arbeiten, daß weder ein direkter Abtrag des metallischen Schichtaufbaus 2, noch ein Polymerabtrag am Substrat 1 erfolgt. So können als sehr positiver Randeffekt schädliche Ablagerungen in den Isolationskanälen 6 sicher vermieden werden.

Die Begrenzung der Strahlung 5 auf den Bereich der Isolationskanäle 6 des metallischen Schichtaufbaus 2 erfolgt beispielsweise durch die Anordnung einer Maske im Strahlengang eines Excimerlasers. Selbstverständlich ist es auch möglich, mittels eines Abbildungsverfahrens bzw. mittels eines fokussierten Laserstrahls, den metallischen Schichtaufbau 2 sehr fein strukturiert abzutragen.

Wie in der Fig. 3 dargestellt, wird nach dem Abtragen des metallischen Schichtaufbaus 2, d. h. nach Fertigstellung der Isolationskanäle 6, auf die verbliebenen Strukturen des metallischen Schichtaufbaus 2 eine Metallschicht 7 aufgebracht, die Leiterbahnen 8 bildet. Die Metallisierung der verbliebenen Primergeometrien erfolgt mittels eines handelsüblichen stromlosen Metallisierungsbades, wobei eine Metallstärke von 2 µm in 1 Sekunde erreichbar ist. Die stromlose Metallisierung gewährleistet eine außerordentlich gleichmäßige Schichtstärke. Die aufgetragenen Metallschichten 7 können zudem extrem dünn gehalten werden, wobei Schichtdicken mit einer Stärke von 0,5–30 µm, bevorzugt 1–10 µm, eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur strukturierten Metallisierung der

Oberfläche von polymeren Substraten (1) zur Herstellung von Feinleiterschaltungen, wobei auf die Oberfläche des Substrates (1) eine Basisschicht vollflächig aufgetragen wird, dann durch eine im Bereich der einzubringenden Isolationskanäle (6) einwirkende kurzwellige, elektromagnetische Strahlung (3), vorzugsweise im UV-Bereich, insbesondere eines Lasers, in die Basisschicht Isolationskanäle (6) durch vollständigen Abtrag der Basisschicht eingearbeitet werden, und nachfolgend die verbliebene strukturierte Basisschicht in einem stromlosen Metallisierungsbad mit metallischen Leiterbahnen (8) versehen wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Basisschicht ein metallischer Schichtaufbau (2) in einer maximalen Dicke aufgetragen wird, die der Photonen-Eindringtiefe der einwirkenden elektromagnetischen Strahlung (3) entspricht und daß die Energiedichte der elektromagnetischen Strahlung (3) derart eingestellt wird, daß der metallische Schichtaufbau (2) ohne Abtrag durchstrahlt und die Energie im wesentlichen an der Phasengrenze zum polymeren Substrat (1) absorbiert wird, wobei ein sich bildendes Plasma den metallischen Schichtaufbau (2) unter Ausbildung der Isolationskanäle (6) randscharf und rückstandslos entfernt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der metallische Schichtaufbau (2) in einer Dicke von 5 bis 500 nm, vorzugsweise in einer Dicke von 10 bis 100 nm, aufgetragen wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der metallische Schichtaufbau (2) von einem bei der stromlosen Metallisierung katalytisch wirkenden Metall gebildet ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der metallische Schichtaufbau (2) zweischichtig von einem auf der Oberfläche des Substrates (1) aufgetragenen Metallhaftfilm (3) und von einem auf dem Metallhaftfilm (3) aufgetragenen, aus dem katalytisch wirkenden Metall bestehenden Metallfilm (4) ausgebildet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schichtaufbau (2) bzw. der Metallfilm (4) vorzugsweise aus Au, Cu, Pd, Pt, Ag, Al bzw. aus Legierungen dieser Metalle besteht.

6. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Metallhaftfilm (3) vorzugsweise aus Cr besteht.

7. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Schichtaufbau (2) durch Aufdampfen bzw. Sputtern aufgebracht wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationskanäle (6) mittels eines Krypton-Fluorid-Excimerlasers mit einer Wellenlänge von $\lambda = 248$ nm und einer Energiedichte von 100–200 mJ/cm² ausgebildet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationskanäle (6) mittels eines frequenzkonvertierten Nd:YAG-Festkörperlasers ausgebildet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationskanäle (6) mittels eines frequenzverdoppelten Nd:YAG-Festkörperlasers mit einer Wellenlänge von $\lambda = 532$ nm, einer Laserfrequenz von 5 kHz und einer mittleren Leistung von etwa 6 W ausgebildet werden.

lenlänge von $\lambda = 532$ nm, einer Laserfrequenz von 5 kHz und einer mittleren Leistung von etwa 6 W ausgebildet werden.

11. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationskanäle (6) mittels eines frequenzverdreifachten Nd:YAG-Festkörperlasers mit einer Wellenlänge von $\lambda = 355$, einer Laserfrequenz von 5 kHz und einer mittleren Leistung von etwa 0,5–1 W ausgebildet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Isolationskanäle (6) und Leiterbahnen (8) mit einer Breite von 5 µm bis 200 µm, vorzugsweise 10 µm bis 100 µm, erzeugt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung (3) unter Verwendung einer im Strahlengang des Excimerlasers angeordneten Maske oder mittels eines Abbildungsverfahrens aufgebracht wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1 und einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetische Strahlung (3) mittels eines fokussierten Laserstrahls eingebracht wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

